

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-061765

(43)Date of publication of application : 07.03.1997

(51)Int.Cl.

G02F 1/025

(21)Application number : 07-216914

(71)Applicant : HITACHI LTD
GIJUTSU KENKYU KUMIAI SHINJOHO
SHIYORI KAIHATSU KIKO

(22)Date of filing : 25.08.1995

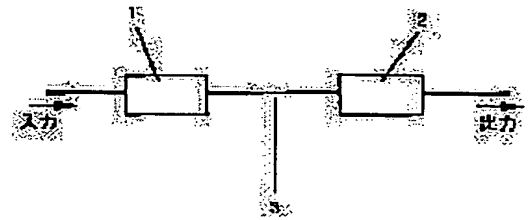
(72)Inventor : NISHIMURA SHINJI
INOUE HIROAKI

(54) TIME LENS FOR FREQUENCY CONTROL LIGHT SIGNAL AND LIGHT SIGNAL PROCESSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a time lens for a frequency control light signal having sufficient efficiency and performance without requiring intricate and large-scale device constitution and without impairing the high speed and large capacity of the light signals and a light signal processor.

SOLUTION: An optical frequency conversion element of a semiconductor waveguide type applying a half-wavelength plate rotation system is used for a light frequency sweeping section 1 for applying a distribution to the wavelength component of an input signal pulse train. The waveguide consisting of a semiconductor quantum well structure is used as a refractive index dispersion medium 2. The light frequency converter of the half-wavelength plate system used for the optical frequency sweeping section 1 is capable of embodying frequency conversion of efficiency 100% independent on the modulation speed and modulation system of the input signals. The waveguide applying the quantum wells used as the high-refractive index dispersion medium 2 is capable of embodying the refractive index dispersion extremely higher than that of the conventional materials. Consequently, the highly efficient time lens is embodied.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 30.03.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-61765

(43) 公開日 平成9年(1997)3月7日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 F 1/025

G 0 2 F 1/025

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平7-216914

(22) 出願日 平成7年(1995)8月25日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 593162453

技術研究組合新情報処理開発機構

東京都千代田区東神田2-5-12 龍角散ビル8階

(72) 発明者 西村 信治

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 井上 宏明

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

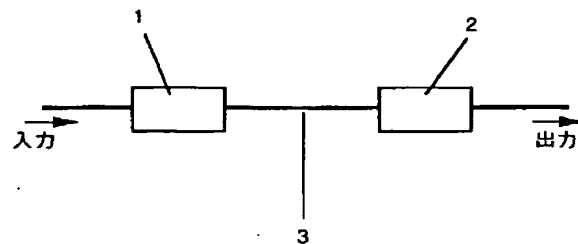
(74) 代理人 弁理士 磯村 雅俊

(54) 【発明の名称】 周波数制御光信号用時間レンズおよび光信号処理装置

(57) 【要約】

【目的】 複雑大規模な装置構成を必要とせず、光信号の高速大容量性を損なうことなく、また、十分な効率および性能を有する周波数制御光信号用時間レンズおよび光信号処理装置を提供すること。

【構成】 入力信号パルス列の波長成分に分布を与える光周波数掃引部1に半波長板回転方式を応用した半導体導波路型の光周波数変換素子を用いる。また屈折率分散媒体2として、半導体量子井戸構造から成る導波路を用いる。光周波数掃引部1に用いた半波長板方式の光周波数変換器は、入力信号の変調速度・変調方式に無依存に効率100%の周波数変換を実現でき、また高屈折率分散媒体2として用いる量子井戸応用導波路も従来材料より非常に大きい屈折率分散を実現できる。その結果高効率な時間レンズの実現が可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 時間軸に並んだ複数の光信号の搬送波周波数を時間と共に掃引する光周波数掃引部と、該光周波数掃引部で変換された光周波数の帯域において屈折率分散を有し、前記光周波数掃引部で変換された光信号の周波数に応じ伝搬時間を変化させる屈折率分散媒体とからなる周波数制御光信号用時間レンズであって、前記光周波数掃引部と屈折率分散媒体を化合物半導体材料からなる導波路型素子で構成したことを特徴とする周波数制御光信号用時間レンズ。

【請求項2】 請求項1に記載の周波数制御光信号用時間レンズにおいて、前記光周波数掃引部を波長板回転方式を用いた半導体導波路型光周波数変換素子で構成したことを特徴とする周波数制御光信号用時間レンズ。

【請求項3】 請求項1または2に記載の周波数制御光信号用時間レンズにおいて、前記光周波数掃引部と前記屈折率分散媒体のいずれか一方または両方を、量子井戸構造、量子細線構造、または量子箱構造の何れかの量子マイクロ構造を有する導波路構造にて構成することを特徴とする周波数制御光信号用時間レンズ。

【請求項4】 請求項1ないし3の何れか1項に記載の周波数制御光信号用時間レンズを少なく一つ具備し、時間軸上に配列された光信号に対してフーリエ変換、相関、畳み込み、またはフィルタリングの何れかの信号演算処理を行うこと特徴とする光信号処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信技術などにおいて伝送技術と並んで重要な光信号処理技術に関し、特に、時間軸または周波数軸上に多重化されたパルス信号列に対し、時間間隔の圧縮・伸長などを行うことが可能な周波数制御光信号用時間レンズおよびパルス間の順序入替え等の処理を行なうことが可能な光信号処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、光を用いた情報処理はその高速大容量性のために有望視されており、研究開発が活発に行われている。今後、高速大容量な光信号伝送・光信号処理技術の実現を考えると、その高速大容量性を損なうことなく伝送光信号を処理する技術は必要不可欠である。これに関し実現可能な方法として、光信号を電気信号に変換し、実際の各種処理を電氣的に行う方法、および光信号のまま直接光学的に処理する方法がある。

【0003】 前者の光信号を電気信号に変換して各種処理を電氣的に行う方法では、膨大な容量の電氣的メモリが必要となり、また、光信号を電気信号に変換して電気回路に送出したり電気信号を光信号に変換して光学的回路に送出する必要がある。その場合、光学側の回路、例えば、光学的なマルチプレクサ/デマルチプレクサ(MUX/DEMUX)の処理速度は電気回路の処理速度に合わせな

ければならない。

【0004】 一方、光信号を光信号のまま圧縮や伸長の機能を実現する方法としては「時間レンズ」の概念が知られており、例えば、オブティクスレーズ第14巻、第630頁-第632頁に開示されている。「時間レンズ」とは、信号パルス列に位相変調器等を用いて信号の波長成分に分布を与えた後、屈折率分散媒体に入射・透過させ、各パルス間に進行速度の差を生じさせ出力する。この際、各パルス列の波長と透過媒体の屈折率分散量を調整することで、入射パルス列の圧縮・伸長・順序入替等の機能を、光電変換なしに実現することが可能となる。本機能は信号波長1.05 μm において、強誘電体材料ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)製のマイクロ波変調器を用いて実現された例がジャーナルオブカンタムエレクトロニクス 第30巻、第827頁-第837頁に開示されている。また、化合物半導体などの電気光学材料に円偏光の光を伝搬し、それに回転電界を印加することによって入射光の光周波数を変換する光周波数変換素子が特開平7-92517号公報に開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来例のうち、前者の光電変換を用いて実現する方法は、処理時に電気回路の処理速度に応じたマルチプレクサ/デマルチプレクサ(MUX/DEMUX)を必要としたり、信号記憶装置として大規模なメモリを必要とするなど、複雑大規模な装置構成を必要とするという問題がある。またこの方法は光電変換の操作を必ず介在しなくてはならず、光信号の高速大容量性を損なうという問題がある。

【0006】 一方、後者のジャーナルオブカンタムエレクトロニクス第30巻、第827頁-第837頁にて報告されている時間レンズ機能は、実現に要したマイクロ波強度が13ワットと大きく、また時間レンズとしての開口径および分解能もそれぞれ31psおよび1.9psと小さく実際の信号伝送・処理システムへの応用を考えたとき効率、性能両面で十分でないという問題があった。また、特開平7-92517号公報に記載されたものは、単に光周波数を変換するものであって、低駆動電圧で効率よく光周波数変換することは記載されているが、光信号の圧縮・伸長・順序入替等については何ら記載されておらず、従って時間レンズに関する構成については全く考慮されていない。本発明の目的は、上記問題を解消し、複雑大規模な装置構成を必要とせず、光信号の高速大容量性を損なうことなく、また、十分な効率および性能を有する周波数制御光信号用時間レンズおよび光信号処理装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明は、上記目的を達成するために、まず、入力信号パルス列の波長成分に分布を与える手段として、従来のニオブ酸リチウム製のマ

マイクロ波変調器を使用した位相変調に代えて、化合物半導体材料の導波路型素子から構成された光周波数掃引部を用い、特にこの化合物半導体材料の導波路型素子として前述した特開平 7-92517 号公報に記載された如き半波長板回転方式を応用した光周波数変換素子を用いることを特徴とし、また屈折率分散媒体として化合物半導体材料からなる量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造を用いた導波路を用いることを特徴としている。

【0008】

【作用】本発明は、時間軸上にある複数の光信号の周波数を時間とともに掃引して周波数変換する光周波数掃引部 1 と、該光周波数掃引部で変換された光信号の周波数帯域において屈折率分散を有し、前記光周波数掃引部で変換された周波数の光信号を入力して該光信号の周波数に応じて通過速度を変化させる屈折率分散媒体 2 とからなる周波数制御光信号用時間レンズであって、前記前記光周波数掃引部 1 と屈折率分散媒体 2 を化合物半導体材料からなる導波路型素子で構成している。光信号の周波数を変換する光周波数掃引部 1 に化合物半導体材料を用いることで、従来の強誘電体材料を用いた場合に比較して飛躍的に高い位相変調効率を得ることができ、時間レンズの高効率化をもたらす。また光周波数掃引部 1 に半波長板方式の光周波数変換器を用いることにより、入力信号の変調速度・変調方式に無依存に効率 100% の周波数変換を実現でき、さらに一層の高効率な時間レンズの実現が可能となる。また、量子マイクロ構造の導波路素子を用いることによって、入力光に対して従来の強誘電体材料のものと比較して高効率な屈折率分散を与えることができる。

【0009】

【実施例】図 1 は本発明の周波数制御光信号用時間レンズの一実施例を示す図である。図 1 に示す装置は入力信号の搬送波周波数を時間とともに掃引する光周波数掃引部 1 と、信号の搬送波周波数に応じて進行速度に差を付ける高屈折率分散媒体 2、およびこれら両者をつなぐ信号伝送部 3 から構成される。

【0010】図 2 は本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する光周波数掃引部 1 として使用する半波長板回転方式を応用した導波路型の光周波数変換素子の構成例である。導波路型の光周波数変換素子は、導波路の周囲に回転電界を与えるための三つの電極を設けた構造を有する。図 2 の構造をさらに説明すると、光周波数掃引部 1 の導波路構造はリッジ型に加工された導波層 10 を挟む形で上部のクラッド層 15 および下部のクラッド層 16 を有する構造を持つ。導波層 10 および上部クラッド層 15、下部クラッド層 16 はそれぞれガリウム砒素系またはインジウム燐系などの化合物半導体材料から構成される。導波層 10 の周囲には特開平 7-92517 号公報に記載されたものと同様の回転電界を与える 4 個の電界印加用電極 11~14 を導波路周囲に近接する

形で配置する。この半波長板回転式の光周波数変換素子は、入力する正弦波電気信号の周波数に等しい大きさの光周波数変換を、入力信号の変調速度・変調方式に無依存に実現することが可能である。よって本光周波数変換素子において入力電気信号の周波数を時間変化とともに掃引することで、搬送波周波数が漸次的に変化する信号パルス列の生成が容易に可能となる。

【0011】本発明で使用する光周波数変換素子としては、図 2 の構造の他に、例えば、上記特開平 7-92517 号公報に記載されている量子井戸構造（図 12、13 参照）、量子細線構造（図 14 参照）、量子箱構造（図 15 参照）を有する量子マイクロ構造材料を採用した他の構造でもよいことはいうまでもない。図 12 において、120 は多重量子井戸構造からなる導波路層、121 は基板、122~125 は第 1~第 4 の電界印加用電極、126 はクラッド層であり、図 13 において、130 は多重量子井戸構造からなる導波路層、131~133 は第 1~第 3 の電界印加用導電性半導体部、134 は基板、135 はクラッド層である。また、図 14 において、140 は多重量子細線構造からなる導波路層、141 は基板、142~144 は第 1~第 3 の電界印加用電極、145 はクラッド層であり、図 15 において、150 は多重量子箱構造からなる導波路層、151 は基板、152~154 は第 1~第 3 の電界印加用電極、155 はクラッド層である。量子マイクロ構造については、江崎玲於奈監修、榊裕之編著「超格子ヘテロ構造デバイス」pp.464~465（1988年9月1日 工業調査会）にも記載されている。材料としては高効率電気光学効果を有する化合物半導体材料を用いている。図 2 に示すように、本実施例に用いる光周波数変換素子の素子構造は導波路型の素子構造を有し、掃引する波長域より数 10 nm 短波長側に励起ピークを有する量子井戸構造を導波層に使用することで、バルク材料のみを使用した場合と比較して飛躍的に大きな位相変調効率を獲得できる。

【0012】本発明の時間レンズでは屈折率分散をもつ媒体中を光パルスが通過する際、光パルスの搬送周波数に応じて媒体中の伝搬時間が異なるという性質を利用し、上述したようにして生成した搬送波周波数が漸次的に変化する信号パルス列を、大きな屈折率分散を有する高屈折率分散媒体 2 を通過させることにより時間差を制御するようにしている。この際パルス列の波長軸上の分布と屈折率分散量を調整することにより、後述する図 3 から図 7 に示すような様々な信号処理が可能となる。

【0013】この際大きな屈折率分散値を獲得し、しかも透過中の散乱損失を低減できる構造として図 8 に示すような化合物半導体材料の導波路構造が有利である。この場合も、導波層に量子井戸構造や量子細線構造、量子箱構造を有する量子マイクロ構造材料を採用し、それらの光吸収端を光信号の搬送波周波数付近に設定することで、大きな屈折率分散量が実現できる。導波路は、図 8

に示すように、高屈折率分散を有する量子井戸構造等からなる導波層80の上下左右に導波層より屈折率の低い層(クラッド層)84、85、86を配置した埋込型導波路とし、電界印加用の電極81、82を導波層80の上下に配する構造をとる。本構成によると、電極部81と82に電界印加を行うことによって屈折率変化を誘起し、屈折率分散値を任意に調整することができる。

【0014】図3は信号パルス列を時間軸上で圧縮する例を示す図である。同一搬送周波数(f)の4つの信号パルス列31~34が光周波数掃引部1に入力される。図9は光周波数掃引部1におけるパルス列の入射時間と搬送波周波数の掃引量との関係を示す図である。パルス列が光周波数掃引部1に時間 t_1 から t_2 の間で等間隔で入射された場合、掃引量にして0から $3fg$ までの量の周波数変化を順次うけることを示している。この結果、図3に示すように同一周波数(f)のパルス31、32、33、34は光周波数掃引部1に入力された順に f 、 $f+fg$ 、 $f+2fg$ 、 $f+3fg$ にそれぞれ周波数変換されて出力される。この周波数 f 、 $f+fg$ 、 $f+2fg$ 、 $f+3fg$ に変換されたパルスは高屈折率分散媒体2に入力される。

【0015】図10と図11は高屈折率分散媒体における入力光周波数と屈折率の関係を示す特性図であり、図10は正の屈折率分散(屈折率が光周波数とともに上昇する)を有する媒体の入力光周波数と屈折率の関係を示し、図11は負の屈折率分散(屈折率が光周波数とともに下降する)を有する媒体の入力光周波数と屈折率の関係を示している。

【0016】高屈折率分散媒体2に入力されたパルス列を上述した図10に示すような周波数 f から $f+3fg$ までの範囲で正の屈折率分散(つまり光周波数 f から $f+3fg$ の間で屈折率が光周波数とともに上昇する)を有する媒体中を通過させることによって、周波数の高い信号ほど屈折率分散媒体中を低速で伝搬し、個々のパルスおよび各パルス35、36、37、38の時間間隔の伸張(時間的に後に生成される周波数 $f+3fg$ のパルスの方が先に生成される周波数 f のパルスより長時間の遅れが生じる)が可能となる。これは空間レンズを用いたビームの拡大と同じ動作を時間次元で実現したものである。

【0017】図4は信号パルス列を時間軸上で圧縮する例を示す図である。同一搬送周波数(f)で入力された4つの信号パルス列41、42、43、44は、図3の例と同様に光周波数掃引部1において入力時間差に応じてその搬送周波数が f から $f+3fg$ まで掃引され、入力された順に f 、 $f+fg$ 、 $f+2fg$ 、 $f+3fg$ にそれぞれ周波数変換されて高屈折率分散部2に入力される。高屈折率分散媒体2に入力されたパルス列を上述した図11に示すような周波数 f から $f+3fg$ までの範囲で負の屈折率分散(つまり光周波数 f から $f+3fg$

の間で屈折率が光周波数とともに下降する)を有する媒体中を通過させることで、周波数の高い信号ほど屈折率分散媒体中を高速に伝搬し、出力される個々のパルスおよび各パルス45、46、47、48の時間間隔の圧縮(時間的に後に生成される周波数 $f+3fg$ のパルスの方が先に生成される周波数 f のパルスより時間の遅れが少ない)が可能となる。これは空間レンズを用いたビームの縮小と同じ動作を時間次元で実現したものである。

【0018】図5は図4における時間軸上の圧縮をさらに進め、時間軸上に並んだ複数のパルス列を周波数軸上で多重した同期パルスに変換させた例を示す図である。同一搬送周波数(f)で入力された信号パルス列51、52、53、54は、図3の例と同様に光周波数掃引部1への入力時間差に応じて、その搬送周波数が f から $f+3fg$ まで掃引される。このパルス列を周波数 f から $f+3fg$ までの範囲で負の屈折率分散を有する媒体中を通過させることで、個々のパルスおよび各パルスの時間間隔は図4の例と同様にして圧縮される。この際、媒体中の透過時間や周波数掃引量の調整により出力側での全出力パルスの出力(射出)時間を揃えることができる。これにより、時間軸上に並んだパルス列51、52、53、54は周波数軸上で多重した同期パルス55、56、57、58に変換される。これは空間レンズという焦点への結像と同様の動作を時間の次元で実現したものである。

【0019】また、この例においてさらに透過時間を延長することで、図6に示すように時間軸上でパルス列の順序を入れ替えて出力する(パルス列65、66、67、68)ことも可能となる。さらにこれらを応用し、搬送波周波数に対する屈折率分散値を調整することで、時間軸上に並んだパルス列の順序を逆転させることも可能となる。これは空間レンズという像の反転と同様の動作を時間の次元で実現したものである。

【0020】図7は周波数多重同期信号パルス列を、時間軸上に並んだパルス列に変換する例を示す図である。搬送波周波数が f から $f+3fg$ まで分布したパルス列71、72、73、74を負の屈折率分散を有する媒体中を通過させることで、個々のパルス間に進行速度差を生じ、出力端からの出射時間に差を生じさせることが可能となる。この結果、周波数多重された同期信号列を時間軸上に並んだパルス列75、76、77、78に変換することが実現できる。なお、図7において、正の屈折率を有する媒体を通過させることによって出力端からの出射順序を逆にすることも可能である。

【0021】図3ないし図7を用いて説明した動作は、空間次元中で空間レンズが実現した動作を時間次元中で実現したものであり、これらの動作をその処理内容に従って適宜組み合わせることにより、空間レンズで処理可能な光信号のフーリエ変換や相関の計算、畳み込みやフィルタリング等の信号処理操作を時間次元中で実現する

光信号処理装置を構築することも可能である。

【0022】

【発明の効果】本発明によれば、光周波数掃引部および屈折率分散媒体それぞれにおいて化合物半導体材料を用いた導波路構造を採用し、特に周波数掃引部に半波長板回転式の光周波数変換素子を用いることによって、従来と比較して高効率な電気光学効果を有効に使用でき、また高性能な時間レンズの実現ができる。その結果、大容量光パルス信号に対し大容量メモリや光電変換装置などが不要になり、複雑大規模な装置構成が不要で、光信号の高速大容量性を損なうことがない周波数制御光信号用時間レンズおよび光信号処理装置が実現できる。本発明により時間軸上に並んだ光パルス列の時間間隔の圧縮・伸張のみならず信号の順序入れ換えや、周波数多重信号とのシリアル-パラレル変換等の光信号処理を高速/高効率かつ簡素な装置構成で実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の周波数制御光信号用時間レンズの構成の一実施例を示す図である。

【図2】本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する光周波数掃引部における、位相板回転方式を応用した化合物半導体導波路型光周波数変換素子の構成例である（量子井戸型）。

【図3】本発明の動作例を示す図であり、時間軸上に並んだ4つの入力パルス列をそれぞれ光周波数 f から $f + 3fg$ まで変化させた後、正の屈折率分散を持つ媒体を透過させることでパルス信号および各信号間隔を伸長する例である。

【図4】本発明の動作例を示す図であり、時間軸上に並んだ4つの入力パルス列をそれぞれ光周波数 f から $f + 3fg$ まで変化させた後、負の屈折率分散を持つ媒体を透過させることでパルス信号および各信号間隔を圧縮する例である。

【図5】本発明の動作例を示す図であり、時間軸上に並んだ4つの入力パルス列をそれぞれ光周波数 f から $f + 3fg$ まで変化させた後、負の屈折率分散を持つ媒体を透過させることで時間軸上で同期した周波数多重信号に変換する例である。

【図6】本発明の動作例を示す図であり、時間軸上に並んだ4つの入力パルス列をそれぞれ光周波数 f から $f + 40$

* $3fg$ まで変化させた後、負の屈折率分散を持つ媒体を透過させることで時間軸上で順序を入れ替える例である。

【図7】本発明の動作例を示す図であり、周波数軸上に多重された4つの同期信号を高屈折率分散媒体を透過させることで時間軸上に並んだパルス信号列に変換する例である。

【図8】本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する高屈折率媒体の構成例であり、高屈折率分散媒体として、高屈折率分散を持つ量子井戸構造等を導波層に組み込んだ構造を持つ埋込型導波路構造を示す図である。

【図9】光周波数掃引部における時間と、被掃引光周波数の関係を示す図である。

【図10】正の屈折率分散を持つ媒体の入力光周波数と屈折率の関係を示す図である。

【図11】負の屈折率分散を持つ媒体の入力光周波数と屈折率の関係を示す図である。

【図12】本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する光周波数掃引部における、位相板回転方式を応用した化合物半導体導波路型光周波数変換素子の構成例である（量子井戸型）。

【図13】本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する光周波数掃引部における、位相板回転方式を応用した化合物半導体導波路型光周波数変換素子の構成例である（量子井戸型）。

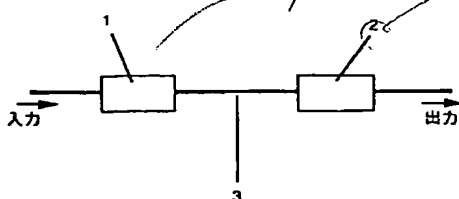
【図14】本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する光周波数掃引部における、位相板回転方式を応用した化合物半導体導波路型光周波数変換素子の構成例である（量子細線型）。

【図15】本発明の周波数制御光信号用時間レンズを構成する光周波数掃引部における、位相板回転方式を応用した化合物半導体導波路型光周波数変換素子の構成例である（量子箱型）。

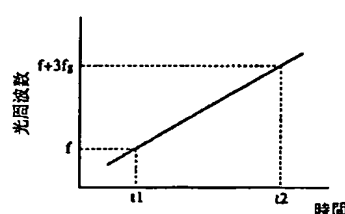
【符号の説明】

1：光周波数掃引部、2：高屈折率分散媒体、3：信号伝送部、10、80：導波層、11、12、13、14、81、82：電極、15、83：上部クラッド層、16、84：下部クラッド層、85、86：側面埋込クラッド層

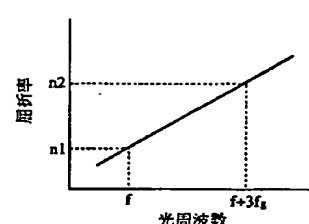
【図1】



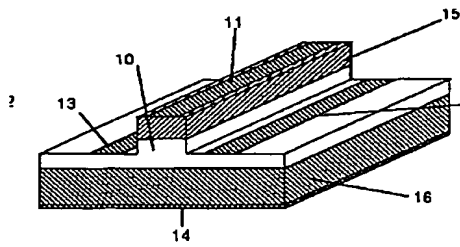
【図9】



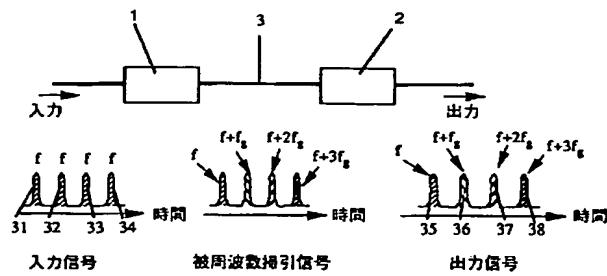
【図10】



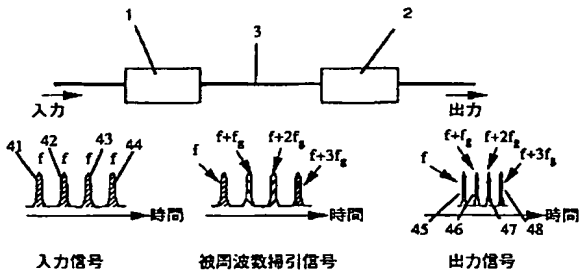
【図2】



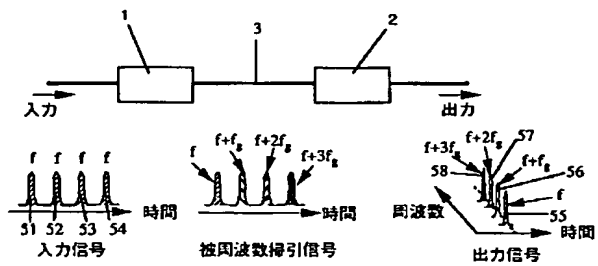
【図3】



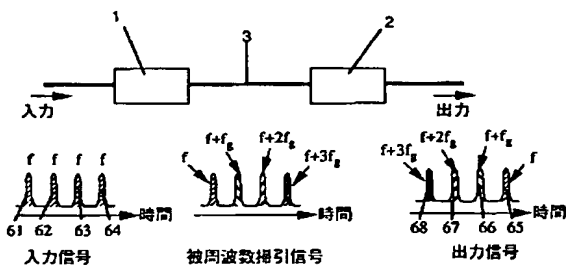
【図4】



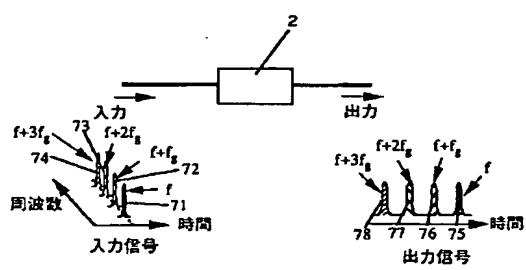
【図5】



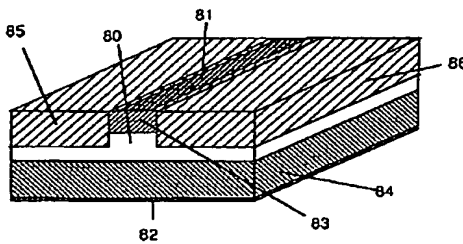
【図6】



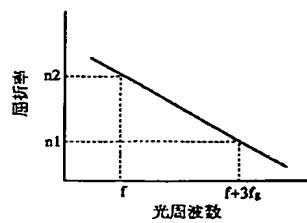
【図7】



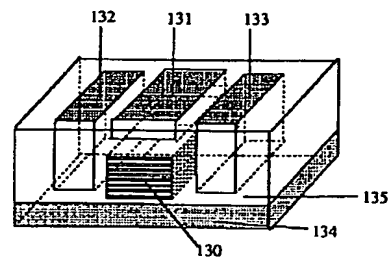
【図8】



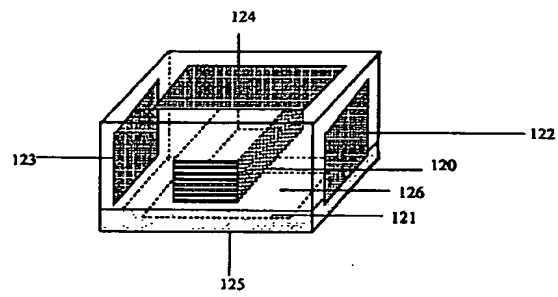
【図11】



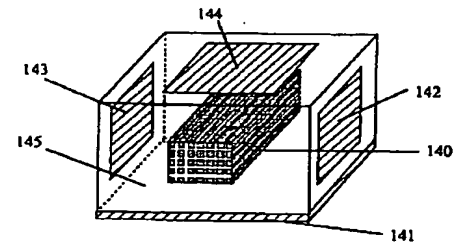
【図13】



【図12】



【図14】



【図15】

